

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-077453

(43)Date of publication of application : 11.03.2004

(51)Int.Cl.

G01C 19/56

G01P 9/04

H03H 3/04

(21)Application number : 2002-276223

(71)Applicant : MICROSTONE CORP

(22)Date of filing : 19.08.2002

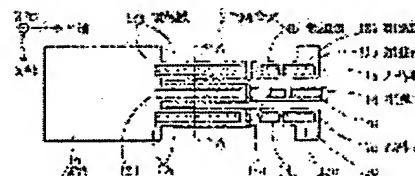
(72)Inventor : OKADA YOSHIYA

## (54) FREQUENCY ADJUSTMENT METHOD FOR TRIPOD TUNING FORK

### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a quick, efficient and rational frequency adjustment method for a tripod tuning fork, and improve the performance of and reduce the cost of a gyro sensor.

SOLUTION: With both outer legs of a tripodal vibrating body vibrated in a symmetric mode, either outer leg is selected and the outer leg is subjected to frequency adjustment processing so that the amplitude of a middle leg is reduced, and the frequency in the symmetric mode is set to a desirable value. As reference information for the selection of either outer leg, vibration phase information about the middle leg is used. The tripod tuning fork after the adjustment is then vibrated in an asymmetric mode, and the middle leg is processed or both outer legs are equally processed to bring the frequency in the asymmetric mode nearer to a target value. In connection with the adjustment processing method, a magnitude relation is preset between the frequency in the symmetric mode and the frequency in the asymmetric mode.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

09.08.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-77453

(P2004-77453A)

(43) 公開日 平成16年3月11日(2004.3.11)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
GO1C 19/56	GO1C 19/56	2F105
GO1P 9/04	GO1P 9/04	5J108
HO3H 3/04	HO3H 3/04	B

審査請求 未請求 請求項の数 5 書面 (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2002-276223 (P2002-276223)  
 (22) 出願日 平成14年8月19日 (2002.8.19)

(71) 出願人 500020287  
 マイクロストーン株式会社  
 長野県北佐久郡御代田町大字草越1173  
 番地1394  
 (72) 発明者 岡田 恵也  
 長野県北佐久郡御代田町大字草越1173  
 番地1394 マイクロストーン株式会社内  
 Fターム(参考) 2F105 BB07 BB15 CC01 CD02 CD06  
 5J108 NA03 NB01

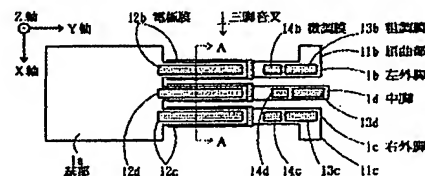
(54) 【発明の名称】 三脚音叉の周波数調整方法

## (57) 【要約】

【課題】最も短時間で能率よく行うことができる、合理的な三脚音叉の周波数調整方法を提供すること。またジャイロセンサの性能向上と低廉化を図ること。

【解決手段】三脚音叉型の振動体の両外脚を対称モードで振動させておき、中脚の振幅が小さくなるように、一方の外脚を選択して該外脚に対する周波数調整加工を行うと共に対称モードにおける振動数を所望の値にすること。また前記一方の外脚を選択するための参照情報として、中脚の振動の位相情報を用いること。またこれらの調整を先に行った三脚音叉を非対称モードで振動させ、中脚を加工するか、あるいは両外脚を均等に加工することによって非対称モードにおける周波数を目標値に近づけること。また調整加工方法と関連させて、事前に対称モードの周波数と非対称モードの周波数に予め大小関係を設定しておくこと。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

三脚音叉型の振動体の両外脚を対称モードで回転角速度を加えない状態で振動させておき、中脚の振幅が小さくなるように、少なくとも一方の外脚に対して周波数調整加工を行い、両外脚のバランス調整を行うと共に対称モードにおける周波数を所望の値とすることを特徴とする三脚音叉の周波数調整方法。

## 【請求項 2】

前記両外脚のバランス調整の参照情報として、中脚の検出電圧波形と発振波形あるいはいずれかの外脚の電圧波形との位相関係の情報を用いることを特徴とする請求項 1 の三脚音叉の周波数調整方法。

## 【請求項 3】

両外脚のバランス調整が実質的に完了していることが確認された三脚音叉を非対称モードで振動させ、中脚を加工することによって非対称モードにおける周波数を所望の値にすることを特徴とする三脚音叉の周波数調整方法。

## 【請求項 4】

三脚音叉の周波数を、対称モードの周波数が非対称モードの周波数よりもやや高くなる関係に予め設定しておいた後に、各脚の付加質量を除去する方法を用いて周波数調整を行うことを特徴とする請求項 3 の三脚音叉の周波数調整方法。

## 【請求項 5】

三脚音叉の周波数を、対称モードの周波数が非対称モードの周波数よりもやや低くなる関係に予め設定しておいた後に、各脚の付加質量を追加する方法を用いて周波数調整を行うことを特徴とする請求項 3 の三脚音叉の周波数調整方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は三脚音叉において、3本の各脚の固有振動数を調整する方法に関する。更に詳しくは、振動のバランスと、発振周波数と、異なる振動モード間の周波数の離調度を調整する方法に関する。

## 【0002】

## 【従来の技術】

互いにほぼ平行な中脚と両外脚を平面状に配置し、三本の脚の一方を基部にて連結した三脚音叉型の振動体を用いて、1軸ないし3軸方向の角速度を検出する振動ジャイロスコープが既に提案されている。例えば、三脚音叉型の振動体を用いて3軸のジャイロスコープを構成した技術の一例が、本願出願人らにより出願された特願2001-49383号に開示されている。

## 【0003】

三脚音叉の角速度センサとしての原理は、主要な例を挙げると、両外脚が対称的に開閉する基本振動を行わせておくと三脚面内の回転運動により、あるいは両外脚と中脚とを三脚面に垂直に互いに反対向きに運動する基本振動を行わせておくと脚軸に平行な軸のまわりの回転により、各脚に現れるコリオリ力によって中脚に惹起される振動力の成分を検出することによって、コリオリ力の大きさ、従って回転角速度を知ることにある。

## 【0004】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかし三脚音叉が所期の性能を発揮するためには、3本の脚の屈曲の固有振動数がばらばらであってはならず、その絶対値も含めて所定の関係になくなくてはならない。例えばもし両外脚の固有振動数が不一致であると、センサ出力にノイズが残留したり、振幅が安定せず検出感度の変動したりすることがある。

## 【0005】

例えばフォトリソグラフィ技術を用いて成形され、電極膜や付加質量となる厚膜が形成された直後の水晶製の三脚音叉では、そのまま各脚の固有振動数が所定の関係にあること

10

20

30

40

50

はほとんど期待できない。従って完成振動子とするに先立って、振動脚の周波数調整加工を行う必要がある。しかも3本の脚を調整加工するのであるから、盲目的な試行錯誤によるわけには行かず、適切な方法を順序よく適用するのでなければならない。

【0006】

本発明の目的は、最も短時間で能率よく行うことができる、合理的な三脚音叉の周波数調整方法を提供することである。またそれによって三脚音叉を用いたジャイロセンサの性能の向上と低廉化を図ることである。

【0007】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明の三脚音叉の周波数調整方法は次の特徴を備える。

(1) 三脚音叉型の振動体の両外脚を対称モードで回転角速度を加えない状態で振動させておき、中脚の振幅が小さくなるように、少なくとも一方の外脚に対して周波数調整加工を行い、両外脚のバランス調整を行うと共に対称モードにおける周波数を所望の値とすること。

【0008】

本発明の三脚音叉の周波数調整方法は更に以下の特徴を備えることがある。

(2) 前記両外脚のバランス調整の参照情報として、中脚の検出電圧波形と発振波形あるいはいずれかの外脚の電圧波形との位相関係の情報を用いること。

【0009】

上記目的を達成するため、本発明の三脚音叉の周波数調整方法は次の特徴を備える。

(3) 両外脚のバランス調整が実質的に完了していることが確認された三脚音叉を非対称モードで振動させ、中脚を加工することによって非対称モードにおける周波数を所望の値にすること。

【0010】

また、本発明の三脚音叉の周波数調整方法は更に次のいずれかの特徴を備えることがある。

(4) 三脚音叉の周波数を、対称モードの周波数が非対称モードの周波数よりもやや高くなる関係に予め設定しておいた後に、各脚の付加質量を除去する方法を用いて周波数調整を行うこと。

(5) 三脚音叉の周波数を、対称モードの周波数が非対称モードの周波数よりもやや低くなる関係に予め設定しておいた後に、各脚の付加質量を追加する方法を用いて周波数調整を行うこと。

【0011】

【発明の実施の形態】

図1は本発明の周波数調整方法が適用される三脚音叉の実施の形態の一例の正面図である。三脚音叉1は厚さ約0.1~0.2mm程度の水晶のZカットに近い板からフォトリソグラフィ技術で三脚型に切り出され、更に電極膜や周波数調整要の膜等を付着加工されたものである。サイズは例えば全長(対称軸方向の長さ)は10.7mm、脚長4.9mm、幅3.8mmである。図中に座標軸の方向(水晶の結晶軸の方向に近い)も示す。

【0012】

振動部分は大面積の基部1aから分岐した左外脚1b、右外脚1c、中脚1dより成り、形状はY軸に平行な中脚1dの中心軸に関して対称である。両外脚にはそれぞれ外側に偏芯した付加質量を与える屈曲部11b、11cを有する。これら屈曲部はコリオリ力に対するセンサ感度を向上させる作用を担う。12b、12c、12dは各脚の周囲4面の根元側に設けた電極膜で、圧電作用により各脚の振動の励振または検出を行う。

【0013】

各電極膜は金属薄膜で脚の表面に密着しているが、側面または断面方向から見る場合は存在を明瞭にするため脚の表面から僅か浮かして図示している。また各電極膜は適宜に配置された結線パターンにより基部1a上の電極パッド(これらは図示せず)に接続される。周波数調整用の付加質量として、各脚の先端に近い部分に例えば銀ペーストを焼付けて約

10

20

30

40

50

10  $\mu\text{m}$ の厚膜とした粗調膜13b, 13c, 13dと、それらに隣接した、Ti-Pdより成る約0.30  $\mu\text{m}$ （前記電極膜と共通で同時形成）の微調膜14b, 14c, 14dを有する。

#### 【0014】

図2は前図におけるA-A断面図であるとともに、電極の結線を示す図である。両外脚1b、1cの電極膜12b、12cの電極端子3b、4b、3c、4cは通常、2端子または4端子（3端子）の発振回路に接続され、中脚1dの電極膜12dの電極端子3d、4dはセンサの検出回路の入力に接続される。

#### 【0015】

図3は三脚音叉の主な振動モードとセンサ作用を示す、線画による概念図である。また三脚音叉を利用する上での主要な振動姿態を概念的に示している。

(a)はHS-mode（対称モード）で基本振動（最低次数の振動）を駆動（励振）中の振動姿態であり、Vb、Vcは各脚の先端部の速度ベクトルである。そして(b)はその状態でZ軸回りの回転運動（角速度 $\Omega_z$ ）が加わった結果、コリオリ力Fbz、Fczによって付加的に生起するHA-mode（非対称モード）の検出の振動姿態である。

#### 【0016】

(c)は他の駆動用の振動姿態でありV-mode（面垂直モード）、(d)はV-modeにおいてY軸回りの回転運動（角速度 $\Omega_y$ ）が加わった結果、コリオリ力Fby、Fcyによって生起するHA-modeの検出対象である振動姿態を示している。なおHS-modeとV-modeのいずれかを選択的に励振するには（特に両外脚の）電極パターンの変更を要する。

#### 【0017】

図4は発振波形に対する中脚からの検出電圧の位相関係を示す波形図で、tは時間軸である。5はHA-mode（対称モード）で励振されるように、両外脚の電極端子3b、4b、3c、4cに適宜接続された発振回路からの入力電圧波形である。共振周波数で発振が行われるので、発振回路の出力波形は入力波形に対して90°位相がシフトしている。

#### 【0018】

各外脚の固有振動数が不一致であるとき、中脚はいずれかの外脚（固有振動数の高い方の外脚と考えてよいであろう）に引きずられて同位相で振動する現象が見られる。中脚の電極膜12dからの検出電圧出力波形は、その位相を見て中脚がどちらの外脚に引きずられているかが判別できるように、圧電的特性と端子3d、4dの極性を考慮して検出回路に接続されている。6および7は中脚が振動しているときの検出電圧出力波形の2つの場合を示している。未調整の三脚音叉において中脚が振動している場合、これは回転角速度が与えられないのに中脚が振動し、ノイズ出力が発生している状態であることを示す。そこで調整を行って中脚がいずれの外脚にも引きずられないようにしなければならない。

#### 【0019】

波形6は中脚1dが（固有振動数の高い）左外脚1bと同位相で振動変位している場合であり、このとき右外脚1cをトリミング（粗調膜13cまたは微調膜14cの一部をレーザー加工によって除去し、その脚の固有振動数を上げる）加工を行うとバランスが取れる方向に変化する。また波形7が現れる場合は逆に中脚1dが右外脚1cと同位相で振動していることを示すので、左外脚1bを適宜トリミングすることでバランスが取れるようになる。なお、波形6は左外脚の振動位相、波形7は右外脚の振動位相を示していると理解してもよい。すなわちいずれの外脚を加工すべきかを発振波形に対する中脚からの検出波形の位相情報によって決定し得る。

#### 【0020】

図5の各図は周波数調整トリミングの進行に対する諸量の変化の実験結果を示すグラフであり、(a)は外脚の加工に対する中脚の検出電圧の振幅と位相の変化、(b)は中脚加工に対する、(c)は両外脚加工に対する、2種の調整方法による周波数変化を示している。まず(a)の振動バランス調整グラフにおいて横軸は片方の外脚の粗調膜（13b、13cのいずれか）を定量づつ除去する、トリミングの回数であり、2つの曲線は中脚1

dからの検出電圧波形の振幅および位相の加工毎の変化を示す。

#### 【0021】

まず未調整かつ回転角速度の印加がない状態で中脚の位相が $+90^\circ$ であったので、中脚が右外脚と同相で振動していると考え、反対側の左外脚の粗調膜から $0.1\text{mm}\phi$ づつトリミングを開始した。1～5回目までは回数と共に振幅が直線的に減少し、バランス方向に向かっていることがわかる。6回目の加工で位相が $-90^\circ$ に反転したし、更に7回目の加工で振幅が増しバランスが崩れてきたので、8回目は右外脚の加工に切り換えたところ、また振幅が小さくなりバランスを回復した。完全に両外脚のバランスが調整された状態では、対称モードにおける中脚の振動の振幅は極めて小さく、中脚の振動の位相は両外脚の振動の位相の中間にある。

10

#### 【0022】

なお本実験では中脚の位相をゼロにするまでの調整は追求していないが、一回の粗調整量もスポット径等で変更できるし微調膜により1回の加工量を減らした微調整も可能であるので精密調整も可能である。また中脚の位相がいずれかの外脚の位相に近くても、その振幅をある程度小さく追い込んでおけば、実用上の支障なく回転角速度の検出を行うことができるようになるので、実質的にバランスが取れた状態であるとみなすことができる。またトリミングする脚を決める位相情報をたとえ用いなくても、いずれかの外脚を任意に選んでトリミングしてみてその結果中脚の振幅が増えたかどうかを見ることによって、選んだ脚が正しい（加工対象とすべき）外脚であったかどうかを判定し、必要に応じて他の外脚を選んで次の加工を行う方法も実行することができる。なお両外脚のトリミング調整は、最終的にはバランスのとれた状態でしかも周波数を所期の範囲内に入れるために行われる。

20

#### 【0023】

以上三脚音叉のバランス加工の記述を終り、次に中脚の周波数調整について述べる。中脚の固有振動数を両外脚の固有振動数に関して適宜に設定（一致させるか、または高くするか低くするか、またその差をどの程度にするかの所謂離調度調整）することは、これも重要な調整項目である。（離調度の調整は検出や安定性その他センサの特性を最適な関係とするために行う。）中脚はHS-modeでは殆ど関与せず、HA-modeではその主体として強く関与する〔図3（b）、（d）を参照〕ので、結局HS-modeとHA-modeとの2つのモードの発振周波数の差を観測しつつ加工すればよい。

30

#### 【0024】

HS-modeを実現する場合は両外脚が逆方向に駆動されるように発振回路を接続し、HA-modeを励振させるには両外脚が同相（同方向）に駆動されるように、一方の外脚の電極端子の組の発振回路に対する結線を反転してやればよい。

#### 【0025】

図5（b）はバランス調整が終った三脚音叉について、中脚にトリミング加工（1回あたり $0.2\text{mm}\phi$ の粗調膜の除去）を加えつつHS-modeの発振周波数とHA-modeの発振周波数とを比較したものである。実験結果は、HS-modeの発振周波数はほとんど変化せず（当モードにおいては中脚が関与しないことから頷ける現象である）、HA-modeの発振周波数だけが変化しているので、この調整方法は好都合である。

40

#### 【0026】

またHS-modeの周波数をHA-modeの周波数よりも初期に（未調整状態で）高く設定しておく、中脚のトリミング（付加質量の除去）は両周波数の差を縮める方向であるので容易に両モードの周波数を一致させて最高の角速度検出感度を達成することもできるし、その状態の前または後で両モードの周波数に適当な差（最大数10%）を与えた状態で加工を止めることにより、適宜離調度の調整を行うこともできる。（なおHS-modeでのバランスが崩れている三脚音叉ではHS-modeとHA-modeの周波数を一致させようとしても周波数のジャンプ現象が起こってうまく行かないことがあるので、バランス調整を先行させるかバランスの確認をしてから中脚の周波数調整を〔その少なくとも最終の段階を〕行うことが好ましい。）

50

## 【0027】

これに対し図5(c)では同じく両モードの発振周波数を見ながら、中脚は加工せず、両外脚の粗調膜を左右等量づつ(バランスを崩さぬため、各粗調膜を0.4mm×0.3mmづつ同時に)加工した実験結果である。図より確かに検出用周波数(HA-mode)は変化し必要な周波数差も与えることができるし、中脚加工法と併用して両モードの周波数差を増減自由に变化させ得るので、必ずしも排斥されるべき方法ではないが、調整前後で駆動周波数(HS-mode)が大きく変化するし、両外脚が精密に等量づつ加工されとも限らないので、前の方法よりも一般的にはやや劣る方法であると判断される。しかし図5(b)の方法と交互に実施して離調度の調整を往復方向に行うこともできる。

## 【0028】

以上三脚音叉の周波数調整方法の具体的な実施の形態の一例について述べた。次に本発明の方法の変形例のいくつかについて例示しておく。まず図4は原理の説明図であって、位相検出の方法はこのように生の波形を観測して行う手法に限られず、加工された位相情報でもよい。また中脚からの検出波形の位相は発振波形とではなく一方の外脚の振動波形と直接比較してもよい。

## 【0029】

脚の周波数調整の方法は、調整時付加質量の除去(トリミング)ばかりでなく質量の追加(物質を真空蒸着、スパッタリング、あるいは精密ディスペンサー等を用いて脚部に付着させる)を行っても同様な調整が可能である。但し周波数変化方向は逆になるので、対称モードの周波数が非対称モードの周波数よりも低い状態から調整を出発させるのがよい。三脚音叉を1枚の水晶材などのウェハーから多数個取りを行う場合、ウェハー上に形成された三脚音叉や付加質量等の均質性が極めて優れている場合、バランス調整や離調度調整を個々の音叉についてではなく、ウェハー単位で一挙に同時的に行い得る。この場合にはむしろ蒸着等による質量追加の方法が個別のトリミングよりも作業工数的に有利になる場合があり得る。

## 【0030】

また三脚音叉は図1に示したものに限定されない。例えば材質は水晶でなく、他の圧電性結晶あるいは磁器材料でもよい。電極形状も自由である。両外脚の形状は屈曲部を持たない真直脚でもよい。またV-modeで発振させ使用する振動子を調整する目的に対しても(電極の形状選択と適宜組み替えにより調整時にHSまたはHAモードで発振させることは可能)本発明は有効である。また角速度センサ以外の用途(例えば周波数基準とする等)を含む三脚音叉の調整に対しても本発明を適用することができる。

## 【0031】

## 【発明の効果】

本発明においては、中脚の振幅によりバランス調整状態と周波数を判断できるので、三脚音叉の構成に余分の負担を与えず、確実かつ迅速で無駄がなく合理的・能率的に実施することができる調整作業の方法を提供することができた。従ってジャイロセンサのノイズを低減し性能向上と低コスト化に寄与することができた。更に加工すべき外脚を中脚の位相情報により選択することにより、一層作業を能率化することができた。

## 【0032】

またバランス調整がなされた三脚音叉の中脚加工を行うことによって、離調度の調整を単独かつ容易に行うことができた。従ってジャイロセンサの感度と安定度の性能向上と低コスト化に寄与することができた。

また更に対称モードの周波数を非対称モードの周波数よりもやや高くしておいて中脚をトリミングするか、あるいは対称モードの周波数を非対称モードの周波数よりもやや低くしておいて中脚に質量追加を行うことにより、対称モードの周波数と非対称モードの周波数の離調度の調整作業を容易かつ確実に実行することができた。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の周波数調整方法が適用される三脚音叉の実施の形態の一例の正面図であ

10

20

30

40

50



る。

【図2】前図におけるA-A断面図であるとともに、電極の結線を示す図である。

【図3】三脚音叉の主な振動モードとセンサ作用を示す、線画による概念図である。(a)は駆動用のHS-mode(対称モード)、(b)は該モードで角速度 $\Omega_z$ により生起されるHA-mode(非対称モード)の検出用の振動姿態、(c)は他の駆動用の振動姿態であるV-mode(面垂直モード)、(d)は該モードにおいて角速度 $\Omega_y$ により生起される検出用のHA-modeの振動姿態を示す。

【図4】発振波形に対する中脚からの検出電圧の位相関係を示す波形図である。

【図5】各図は周波数調整トリミングの進行に対する諸量の変化の実験結果のグラフであり、(a)は外脚の加工に対する中脚の検出電圧と位相の変化、(b)は中脚加工に対する、(c)は両外脚加工に対する、2種のモードの周波数変化を示している。

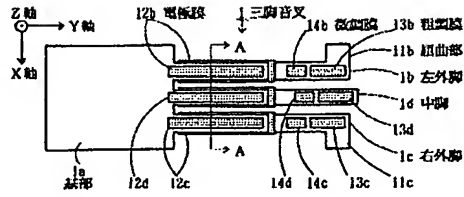
【符号の説明】

1 三脚音叉  
 1 a 基部  
 1 b 左外脚  
 1 c 右外脚  
 1 d 中脚  
 1 1 b、1 1 c 屈曲部  
 1 2 b、1 2 c、1 2 d 電極膜  
 1 3 b、1 3 c、1 3 d 粗調膜  
 1 4 b、1 4 c、1 4 d 微調膜  
 3 b、3 c、3 d、4 b、4 c、4 d 電極端子  
 5 発振波形  
 6、7 中脚の検出電圧波形  
 F c y、F c z コリオリ力  
 t 時間軸  
 V 電圧  
 V b、V c、V d 速度ベクトル  
 X、Y、Z 座標軸  
 $\Omega_y$ 、 $\Omega_z$  回転角速度

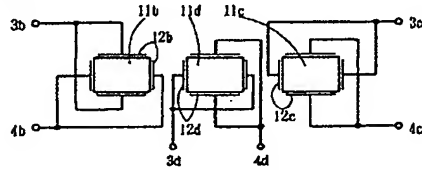
20

30

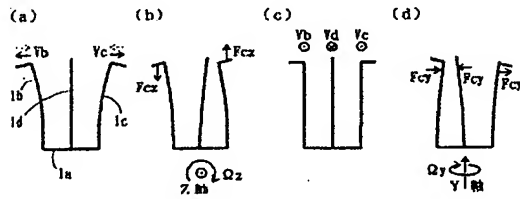
【図 1】



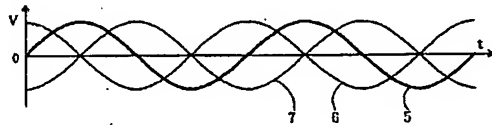
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【図 5】

